

⑪ Veröffentlichungsnummer: **0 489 962 A1**

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>: **H02K 15/12**, **F26B 23/02**,  
**F23G 7/06**

② Anmeldetag: 13.12.90

④ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
17.06.92 Patentblatt 92/25

Ⓢ Benannte Vertragsstaaten:  
AT CH DE FR GB IT LI NL

71 Anmelder: BOOCKMANN GMBH  
Sonnenstrasse 14  
W-8741 Niederlauer(DE)

⑦ Erfinder: Boockmann, Gerhard  
Sonnenstrasse 14

**W-8741 Niederlauer(DE)**

**Erfinder: Börner, Roland**

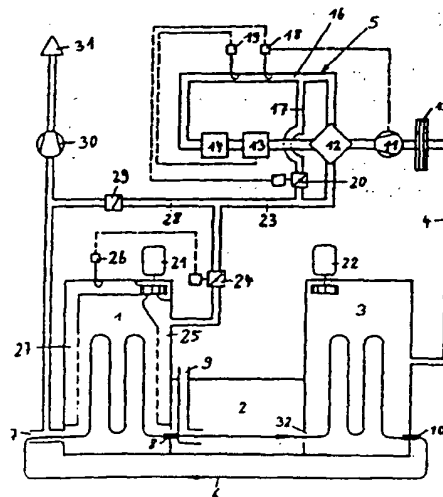
**Apothekengasse 1-5**

**W-8740 Bad Neustadt/Saale(DE)**

74 Vertreter: Weber, Dieter, Dr. et al  
Dr. Dieter Weber und Dipl.-Phys. Klaus  
Selffert Patentanwälte  
Gustav-Freytag-Strasse 25 Postfach 6145  
W-6200 Wiesbaden 1(DE)

⑤<sup>4</sup> Verfahren und Vorrichtung zum Tränken und/oder Beschichten von Gegenständen.

(57) Bei einem Verfahren zum Tränken und/oder Beschichten von Gegenständen in einer Träufel- und/oder Tauchrollanlage unter Hindurchführen der Gegenstände durch eine Vorwärmzone, wenigstens eine Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone, eine Nachhärtungszone und gegebenenfalls wenigstens eine Zwischenhärtungszone wird die Abluft der Träufel-, Tauchroll-, Beschichtungs-, Zwischenhärtungs- und/oder Nachhärtungszone als Rohgas in eine Nachverbrennungsanlage überführt, wobei das Rohgas durch indirekten Wärmeaustausch mit dem Reingas der Nachverbrennung erhitzt wird, das Reingas der Nachverbrennung wenigstens teilweise zu der Vorwärmzone zurückgeführt und der Energieinhalt des zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingases so eingestellt, daß der Energiebedarf der Vorwärmzone im wesentlichen gerade gedeckt wird. Eine Vorrichtung hat entsprechende Einrichtungen zur Durchführung dieses Verfahrens.



Träufel- und Tauchrollanlagen, insbesondere zum Tränken und Verbacken von elektrotechnischen Wickelgütern, wie von Wicklungen für Elektromotoren, sind allgemein bekannt. In diesen Vorrichtungen werden die Wickelgüter mit einer geeigneten Transporteinrichtung, wie einer Endloskette mit Aufnahmeeinrichtungen, zunächst durch eine Vorwärmzone und dann durch eine Träufelzone und/oder Tauchrollzone und/oder Beschichtungszone und schließlich durch eine Nachhärtungszone geführt. Gegebenenfalls kann auch noch eine Zwischenhärtungszone eingeschaltet sein.

In der Vorwärmzone werden die Wickelgüter auf eine Temperatur erhitzt, bei der das Träufelharz schnell eindringt und innerhalb geeigneter Verweilzeit geliert. Diese Vorwärmtemperatur liegt geeigneter Verweilzeit geliert. Diese Vorwärmtemperatur liegt gewöhnlich in der Größenordnung von 130 °C. Anschließend an das Vorheizen werden die Wickelgüter rotierend mit dem Träufelharz übergossen oder durch kleine das Harz enthaltende Bäder gerollt und gegebenenfalls noch in einer zusätzlichen Beschichtungszone nachbeschichtet. Während dieser Behandlungen wird die zur Verbackung der Wicklungen erforderliche Harzmenge aufgenommen. Als Träufelharze werden gewöhnlich ungesättigte Polyesterharze eingesetzt. Nach der erforderlichen Harzaufnahme läßt man die Wickelgüter in einer Nachhärtungszone so lange rotieren, bis das Tauch- oder Träufelharz nicht mehr abtropfen kann. Außerdem erfolgt in der Nachhärtungszone die Endaushärtung. Wie erwähnt, wird gelegentlich vor der Nachhärtung noch eine Starkschichtbeschichtung vorgenommen, der eine Zwischenhärtung vorausgehen kann.

In jedem Fall werden in allen Zonen nach der Vorwärmzone flüchtige Stoffe, wie Styrol oder Vinyltoluol, emittiert und werden normalerweise über nicht zu vermeidende Undichtheiten der Anlage in die Raumluft der Räume, wo die Anlage steht, und im übrigen über den Schornstein an die Atmosphäre abgegeben.

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe bestand nun darin, eine wirksame Entsorgung der Emissionen solcher Verfahren zu erhalten und gleichzeitig den Gesamtenergiebedarf des Verfahrens zu vermindern.

Diese Aufgabe wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Tränken und/oder Beschichten von Gegenständen in einer Träufel- und/oder Tauchrollanlage unter Hindurchführen der Gegenstände durch eine Vorwärmzone, wenigstens eine Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone, eine Nachhärtungszone und gegebenenfalls wenigstens eine Zwischenhärtungszone ist dadurch gekennzeichnet, daß man die Abluft der Träufel-, Tauchroll-, Beschichtungs-, Zwischenhärtungs- und/oder Nachhärtungszone als Rohgas in eine Nachverbrennungsanlage überführt, wobei das Rohgas durch indirekten Wärmeaustausch mit dem Reingas der Nachverbrennung erhitzt wird, daß man das Reingas der Nachverbrennung wenigstens teilweise zu der Vorwärmzone zurückführt und daß man den Energieinhalt des zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingases so einstellt, daß der Energiebedarf der Vorwärmzone im wesentlichen gerade gedeckt wird.

Da man bei diesem Verfahren den Energieinhalt der im Verfahren emittierten Schadstoffe für das Verfahren ausnutzt, ist der Gesamtenergiebedarf dieses Verfahrens geringer als bei einem vergleichbaren Verfahren ohne Nachverbrennung. Die Entsorgung der Emissionen erfolgt also nicht auf Kosten zusätzlicher Energiezufuhr, sondern führt sogar zu Energieeinsparungen, was bei sonst üblichen Abluftbehandlungen nicht eintritt, da diese gewöhnlich unter zusätzlicher Energiezufuhr ablaufen. Der technische Effekt des erfindungsgemäßen Verfahrens ist also ein doppelter, nämlich der einer Emissionsbeseitigung einerseits und einer Energieeinsparung andererseits.

Wenn in Verbindung mit der Nachverbrennung oder Nachverbrennungsanlage von Rohgas und Reingas die Rede ist, so bedeutet das Rohgas die mit Schadstoffen beladene, der Nachverbrennungsanlage zugeführte Luft vor der Nachverbrennung und das Reingas die Abluft aus der Nachverbrennungsanlage nach Beseitigung der Schadstoffe durch die Nachverbrennung.

Bevorzugt und im Regelfall wird die gesamte Abluft aller Zonen der Träufel- und/oder Tauchrollanlage nach der Vorwärmzone zu der Nachverbrennungsanlage überführt, wobei diese Abluft den einzelnen Zonen separat oder insgesamt über die Nachhärtungszone entnommen werden kann. Es ist aber auch möglich, nur die Abluft eines Teils dieser Zonen zur Nachverbrennungsanlage zu überführen, da möglicherweise die Emissionen in der einen oder anderen Zone gering genug sind, um sie ohne Nachverbrennung an die Umgebung abzugeben.

Die Träufel- und/oder Tauchrollanlage als solche arbeitet in üblicher Weise, gewöhnlich wie handelsübliche Träufel- und Tauchrollautomaten. Diese handelsüblichen Träufel- und Tauchrollautomaten haben aber keine Nachverbrennungsmöglichkeit, da man die Schadstoffbelastung bei solchen Anlagen gewöhnlich als ausreichend gering ansah, um zusätzliche Entsorgungseinrichtungen zu vermeiden. Mit zunehmender Sensibilisierung der Bevölkerung werden aber auch hier Maßnahmen zur Emissionsreduzierung erforderlich werden. Diese sind besonders vorteilhaft, wenn sie gleichzeitig, wie das erfindungsgemäße Verfahren, zur Verminderung des Gesamtenergiebedarfs führen.

Wenn im Kontext dieser Beschreibung und Ansprüche davon die Rede ist, daß der Energiebedarf der Vorwärmzone im wesentlichen gerade gedeckt werden soll, so ist damit gemeint, daß mit dem Reingas der Nachverbrennungsanlage der Vorwärmzone gerade genügend, vorzugsweise etwas zuviel Energie zugeführt oder angeboten wird, um ohne zusätzliche Heizeinrichtungen die zu tränkenden und/oder zu beschichtenden Gegenstände auf die in den nachfolgenden Zonen erforderliche Temperatur, wie beispielsweise 130 °C, zu bringen. Andererseits soll der Vorwärmzone auf diese Weise möglichst nicht wesentlich mehr Energie zugeführt werden, als für dieses Erwärmen erforderlich ist. Ein wirtschaftliches Optimum hinsichtlich Anlagen- und Betriebskosten wird bei möglichst genauer Auslegung des Wärmetausches erreicht. Dies besagt selbstverständlich nicht, daß der Erfindungsgedanke verlassen würde, wenn der Energiebedarf der Vorwärmzone durch den Energieinhalt des Reingases in gewissem Maße unterdeckt oder überdeckt würde. Beispielsweise läge mit Sicherheit eine Unterdeckung oder Überdeckung bis zu 30 % innerhalb des Erfindungsgedankens.

Weiterhin muß berücksichtigt werden, daß selbstverständlich nicht der gesamte Energieinhalt des zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingases zur Deckung des Energiebedarfs der Vorwärmzone nutzbar ist. Ein Teil des Energieinhaltes des Reingases wird immer ungenutzt mit dem Abgas aus der Vorwärmzone in den Schornstein gehen und damit an die Umgebung abgegeben werden. Dies bedeutet, daß der Energieinhalt des zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingases sich aus der an die Vorwärmzone abgegebenen Energiemenge und der die Vorwärmzone ungenutzt verlassenden Energiemenge zusammensetzen muß.

Die Einstellung des Energieinhaltes des zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingases kann grundsätzlich auf dreierlei Weise erfolgen,

1. durch das gezielte Auslegen der Einzelkomponenten der Anlage, insbesondere des Wärmetauschers,
2. durch die Grundeinstellung der verstellbaren Komponenten der Anlage, insbesondere der Rohgaszufuhrmenge zu der Nachverbrennungsanlage und der Reingaszufuhrmenge zu dem Wärmetauscher für den indirekten Wärmeaustausch mit dem der Nachverbrennungsanlage zugeführten Rohgas, und
3. durch Regelung verschiedener Komponenten der Anlage, insbesondere einer Zusatzheizung für die Nachverbrennungsanlage, der Rohgaszufuhrmenge zur Nachverbrennungsanlage und der Reingaszufuhrmenge zu dem Wärmetauscher, zweckmäßig jeweils in Abhängigkeit von der Temperatur in der Nachverbrennungsanlage, sowie einer Einrichtung zur Steuerung der zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingasmenge, zweckmäßig in Abhängigkeit von der Temperatur in der Vorwärmzone.

Für die Grundeinstellung und Regelung der Reingaszufuhrmenge zu dem Wärmetauscher ist es bevorzugt, eine Bypassleitung mit einem regelbaren Ventil vorzusehen, mit Hilfe derer die Menge an Reingas der Nachverbrennungsanlage gesteuert werden kann, die einerseits durch den Wärmetauscher und andererseits an ihm vorbei direkt in die Rückführleitung zur Vorwärmzone geführt wird.

Das schadstoffbeladene Abgas wird aus den verschiedenen oben angegebenen Zonen zweckmäßig mit Hilfe eines Gebläses abgesaugt, wobei in diesen Zonen ein Unterdruck entsteht, so daß schadstoffbeladenes Abgas diese Zonen nicht oder praktisch nicht an anderen Stellen, wie der Ketteneintrittsschleuse in die Träufel- oder Tauchrollzone oder der Kettenaustrittsschleuse, aus der Nachhärtingszone verläßt.

Je nach der speziellen Anwendung des Verfahrens stellt man in der Nachverbrennungsanlage eine Temperatur im Bereich von 300 bis 900 °C, wie beispielsweise in der Größenordnung von 700 bis 800 °C, und eine Verweilzeit im Bereich von 1/10 bis 5 s, vorzugsweise in der Größenordnung von etwa 1 s ein. Die Wärmeaustauschkapazität des Wärmetauschers wird bei dessen Auslegung zweckmäßig etwas größer als erforderlich gewählt, da die Feineinstellung der Wärmeaustauschkapazität durch die Bypassregelung korrigiert werden kann. Durch die Auslegung der Anlagenteile und die Grundeinstellung wird für die jeweilige spezielle Anwendung der weitgehend optimale Wert für den Energieinhalt der zur Vorwärmzone zurückgeführten Reingasmenge vorbestimmt. Die Feineinstellung und eine Korrektur bei schwankenden oder während einer Verfahrensumstellung veränderten Schadstoffemissionen und/oder bei verändertem Energiebedarf erfolgt durch temperaturabhängige Steuerung der Rohgaszufuhr, der Rückführmenge, des Bypassdurchsatzes und der Temperatur der Zusatzheizung. Wenn beispielsweise die Temperatur in der Nachverbrennungsanlage über den Sollwert ansteigt, kann durch Erhöhung des Durchsatzes in der Bypassleitung, durch Reduzierung oder Abstellung der Zusatzheizung oder durch Verminderung der Rohgaszufuhr mit Hilfe des Gebläses in der Überführungsleitung gegengesteuert werden. Bei Überschreiten der Temperatur in der Vorwärmzone kann durch Reduzierung der Rückführmenge gegengesteuert werden, wobei die überschüssige Reingasmenge direkt an den Kamin abgegeben werden kann.

Wenn in der Nachverbrennungsanlage die Temperatur unter den Sollwert fällt, kann durch Erhöhung der Leistung der Zusatzheizung, durch Minderung des Bypassdurchsatzes und/oder durch Minderung der Rohgaszufuhr gegengesteuert werden. Entsprechend kann bei Absinken der Temperatur in der Vorwärmzone aus irgendwelchen Gründen durch Erhöhung der Rückführmenge gegengesteuert werden.

In bestimmten Fällen kann die durch indirekten Wärmeaustausch auf das Rohgas übertragene Wärme-

energie für die Verbrennung in der Nachverbrennungsanlage ausreichen. Im Regelfall wird man jedoch eine weitere Wärmeenergiezufuhr durch eine Zusatzheizung benötigen. Diese ist auch für das Anfahren der Nachverbrennung erforderlich.

Vorzugsweise sieht man in der Nachverbrennungsanlage einen Verbrennungskatalysator üblicher Zusammensetzung vor. Die Temperatureinstellung in der Nachverbrennungsanlage erfolgt so, daß eine beständige Verbrennung darin stattfindet.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des obigen Verfahrens besitzt eine Vorwärmzone, wenigstens eine Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone, eine Nachhärtungszone und gegebenenfalls wenigstens eine Zwischenhärtungszone sowie eine Transporteinrichtung für das Hindurchführen der zu tränkenden und/oder zu beschichtenden Gegenstände durch diese Zonen. Erfindungsgemäß enthält die Vorrichtung weiterhin eine über eine Rohrleitung mit der Träufel-, Tauchroll-, Beschichtungs-, Zwischenhärtungs- und/oder Nachhärtungszone, vorzugsweise mit letzterer verbundene Nachverbrennungsanlage, eine Heizeinrichtung und einen Wärmeaustauscher für indirekten Wärmeaustausch des Rohgases mit dem Reingas der Nachverbrennungsanlage, jeweils vor oder in der Nachverbrennungsanlage, eine Reingasleitung von der Nachverbrennungsanlage zu der Vorwärmzone sowie Einrichtungen zur Einstellung des Energieinhaltes des Reingases der Nachverbrennungsanlage. Wie die Einrichtungen zur Einstellung des Energieinhaltes des Reingases der Nachverbrennungsanlage beschaffen sein können, wurde oben in Verbindung mit der Diskussion des Verfahrens dargelegt. Sie können auf einer Auslegung von Komponenten der Anlage, auf der Grundeinstellung sowie der Regelung einzelner Anlagenteile beruhen.

Die beiliegende Zeichnung zeigt ein die Erfindung nicht beschränkendes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in schematischer Darstellungsweise.

Die in der Zeichnung dargestellte Vorrichtung besitzt eine Vorheizzone 1, eine Träufel- oder Tauchrollzone 2 und einen Nachhärtungssofen 3, der über eine Rohrleitung 4 mit der Nachverbrennungsanlage 5 verbunden ist.

Mit Hilfe der umlaufenden Endloskette 6 werden die Gegenstände über den Ketten- und Frischlufteintritt 7 in die Vorwärmzone 1 und über die Ketteneintrittsschleuse 8 bis zur Kettenaustrittsschleuse 10 durch die oben genannten Zonen 1 bis 3 der Anlage geführt. Mit 9 ist ein Frischluftansaugstutzen in der Träufel- oder Tauchrollzone 2 bezeichnet. Die Bezugszeichen 21 und 22 betreffen Umluftventilatoren der Vorwärmzone und im Nachhärtungssofen.

Abluft aus dem Nachhärtungssofen 3 wird mit Hilfe des Gebläses 11 der Rohrleitung 4 über das Filter 15 in die Nachverbrennungsanlage 5 als Rohgas eingesaugt. Dieses Rohgas geht zunächst durch den Wärmetauscher 12 in indirektem Wärmeaustausch mit Reingas aus der Leitung 16, so daß das Rohgas bis zu einer bestimmten Temperatur vorgeheizt wird. Danach geht das vorgeheizte Rohgas durch die Zusatzheizung 13, in der es auf die Verbrennungstemperatur aufgeheizt wird, und anschließend durch den Katalysator 14, wo die abschließende Verbrennung stattfindet. Das Reingas nach Verbrennung der Schadstoffe geht durch Leitung 16 entweder vollständig oder teilweise zum Erwärmen des Rohgases durch den Wärmetauscher 12 und gegebenenfalls zum Teil durch die Bypassleitung 17, deren Durchsatz mit Hilfe einer motorischen Bypassklappe 20 oder eines anderen Ventils gesteuert wird. Wie durch gestrichelte Linien in der Zeichnung gezeigt ist, erfolgt die Steuerung des Gebläses 11 und damit der Rohgaszufuhr zur Nachverbrennungsanlage 5 sowie das Öffnen und Schließen der Bypassklappe 20 und die Aktivierung der elektrischen Zusatzheizung 13 in Abhängigkeit von der Temperatur in der Reingasleitung 16, die mit Hilfe der Temperaturfühler 18 und 19 gemessen wird.

Das den Wärmetauscher 12 und gegebenenfalls die Bypassleitung 17 verlassende Reingas geht durch die gemeinsame Rückführleitung 23 und von dieser über die motorische Rückführungsclappe 24 in die Saugzone 25 des Umluftventilators 21 der Vorwärmzone 1. Die Stellung der motorischen Rückführungsclappe 24 wird in Abhängigkeit von der Temperatur in der Vorwärmzone 1 gesteuert, welche mit Hilfe des Temperaturfühlers 26 abgefühlt wird.

Nach Abgabe von Wärmeenergie an den Inhalt der Vorwärmzone 1 geht das Reingas über die Druckzone des Umluftventilators 21 und den Abluftventilator 30 in den Kamin 31.

An die Reingasseitung 23 ist eine Zweigleitung 28 angeschlossen, die über eine Rückschlagklappe 29 mit dem Kamin 31 in Verbindung steht. Wenn zum Zwecke der Regulierung der zur Vorwärmzone 1 zurückgeführten Energiemenge der Durchsatz der Rückführleitung mit Hilfe der Rückführungsclappe 24 gedrosselt wird, geht die überschüssige Reingasmenge über die Zweigleitung 28 direkt in den Kamin.

Durch das folgende Beispiel wird die Erfindung weiter erläutert.

## Beispiel

### 1. Vorgegebene Werte, Rechengang

## 1.1. Werkstoffkonstanten

5	mittlere spezifische Wärmekapazität Kufer bei 100 °C:	0,108 $\frac{W \times h}{kg \times K}$
10	mittlere spezifische Wärmekapazität Eisen bei 100 °C	0,131 $\frac{W \times h}{kg \times K}$
15	mittlere spezifische Wärmekapazität Luft bei 450 °C und bei einer Zusam-	
20	mensetzung von 20 % O <sub>2</sub> 78 % N <sub>2</sub> 2 % CO <sub>2</sub>	0,371 $\frac{W \times h}{m^3 \times K}$
25		
30	Heizwert Styrol:	11,7 $\frac{W \times h}{g}$

## 35 1.2. Durch Anlage und Anwendungsfall vorgegebene Werte

40	Werkstückdurchsatz:	250/h
	Werkstückzusammensetzung:	80 % Fe 20 % Cu
	durchschnittliche Werkstückmasse:	1,75 kg
45	durchschnittliche Masse	
	Transportkette je Werkstück:	1,75 kg
	Temperatur im Vorwärmofen:	130 °C
	Temperatur im Nachhärteofen:	140 °C
50	Styrolemission:	1,4 kg/h
	styrolbeladene Träufelanlagenabluft:	220 m <sup>3</sup> /h
55	Leckluft im Vorwärmofen:	30 m <sup>3</sup> /h

## 1.3. Rechengang

Da die durch die Verbrennung des Styrols gewonnene Energie und eine an der elektrischen Zusatzheizung erzeugte Energie in den Vorwärmofen einegeleitet werden sollen, ist zuerst der Energiebedarf des Vorwärmofens zu bestimmen. Dieser Energiebedarf wird im Vorwärmofen durch Abkühlung eines heißen Reingasstromes auf Ofentemperatur gedeckt. Aus dem gegebenen Reingasvolumenstrom, der mittleren spezifischen Wärmekapazität der Luft und dem Energiebedarf des Vorwärmofens errechnet sich eine Differenztemperatur, um die das Reingas heißer als die Umluft des Vorwärmofens sein muß.

Aus dieser Reingastemperatur nach Wärmetauscher, dem gegebenen Volumenstrom, der gegebenen Träufelanlagen-Katalysator (Reingastemperatur vor Wärmetauscher) und einigen Werkstoffkonstanten errechnet sich die notwendige Wärmetauscherfläche.

Aus der Wärmetauscherfläche wird dann ein herstellbarer Wärmetauscher berechnet. Dieser Rechengang braucht hier nicht beschrieben zu werden. Weitere hier auch nicht beschriebene Berechnungen dienen zur Überprüfung der Vollständigkeit der Verbrennung, der Auslegung der Ventilatoren und der Einstellung der Druckverhältnisse in Träufel- und Nachverbrennungsanlage.

## 2. Berechnung

Die gesamte Berechnung basiert auf stündlichen Durchschnittswerten. Daher erscheinen in dieser Berechnung statt gewohnter Energieumsätze physikalisch richtige Leistungsumsätze.

### 2.1. Leistungsbedarf des Vorwärmofens

Dieser setzt sich zusammen aus: dem Leistungsbedarf für die Luftherhitzung auf Kamintemperatur, dem Leistungsbedarf für die Erhitzung der Werkstücke, dem Leistungsbedarf für die Erhitzung des Transportmittels und dem Leistungsbedarf für den Ausgleich des durch Abstrahlung und Konvektion eintretenden Leistungsverlustes.

#### 2.1.1. Leistungsbedarf für die Luftherhitzung auf Kamintemperatur

30	mittlere spezifische Wärmekapazität	
	Luft =	$0,371 \frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{m}^3 \times \text{K}}$
35		
		$\text{m}^3 \times \text{K}$
	Kamintemperatur =	
40	Temperatur im Vorwärmofen =	130 °C
	Zulufttemperatur = Raumtemperatur =	20 °C
	Abluftvolumen =	
45	ehemals styrolbeladene, jetzt	
	nachverbrannte Träufelanlagenabluft:	220 m <sup>3</sup> /h
	+ Leckluft im Vorwärmofen:	30 m <sup>3</sup> /h
50	Leistungsbedarf =	
	$\frac{0,371 \times \text{W} \times \text{h} \times 110 \times \text{K} \times 250 \text{ m}^3}{\text{m}^3 \times \text{K} \quad \text{h}} =$	
55		10,20 kW

## 2.1.2. Leistungsbedarf für die Erhitzung der Werkstücke

5	mittlere spezifische Wärmekapazität Kupfer:	0,108 $\frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{kg} \times \text{K}}$
10	mittlere spezifische Wärmekapazität Eisen:	0,131 $\frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{kg} \times \text{K}}$
15	Werkstückdurchsatz:	250/h
	Werkstückzusammensetzung:	80 % Fe 20 % Cu
20	durchschnittliche Werkstückmasse:	1,75 kg
	Temperatur im Vorwärmofen:	130 °C
	Eintrittstemperatur der Werkstücke =	
25	Raumtemperatur:	20 °C
	Energiebedarf:	
30	$\frac{(0,108 \times 0,2 \times 0,131 \times 0,8) \times \text{W} \times \text{h} \times 250 \times 1,75 \times \text{kg} \times 100 \times \text{K}}{\text{kg} \times \text{K} \quad \text{h}}$	
35	= 6,08 kW	

## 2.1.3. Leistungsbedarf für die Erhitzung des Transportmittels

40

45

50

55

mittlere spezifische Wärmekapazität

Eisen:  $0,131 \frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{kg} \times \text{K}}$

Werkstückdurchsatz: 250/h

durchschnittliche Masse

Transportkette je Werkstück: 1,75 kg

Temperatur im Vorwärmofen: 130 °C

Eintrittstemperatur der Werkstücke

= Raumtemperatur: 20 °C

Energiebedarf =

$$\frac{0,131 \times \text{W} \times \text{h} \times 250 \times 1,75 \times \text{kg} \times 110 \times \text{K}}{\text{kg} \times \text{K} \quad \text{h}}$$

$$= 6,30 \text{ kW}$$

2.1.4. Leistungsbedarf für den Ausgleich des durch Abstrahlung und Konvektion eintretenden Leistungsverlustes

Erfahrungswert: ca. 2,00 kW

2.1.5. Leistungsbedarf Vorwärmofen

Summe der in 2.1.1. bis 2.1.4.

errechneten Werte:

$$= 10,20 \text{ kW}$$

$$+ 6,08 \text{ kW}$$

$$+ 6,30 \text{ kW}$$

$$+ 2,00 \text{ kW}$$

$$24,58 \text{ kW}$$

2.2. Differenztemperatur, um die das Reingas heißer als die Vorwärmofenumluft sein muß



mittlere spezifische Wärmekapazität

Luft:

$$0,371 \frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{m}^3 \times \text{K}}$$

5

Reingasvolumenstrom = ehemals styrol-  
beladene, jetzt nachverbrannte

10

Träufelanlagenabluft:

$$220 \text{ m}^3/\text{h}$$

Leistungsbedarf Vorwärmeofen:

$$24,58 \text{ kW}$$

15

Temperaturerhöhung (bei einem Volumen-  
strom von  $220 \text{ m}^3/\text{h}$ ) =

$$\frac{24,58 \times \text{kW} \times \text{m}^3 \times \text{K} \times \text{h}}{0,371 \times \text{W} \times \text{h} \times 220 \times \text{m}^3} =$$

$$301 \text{ K}$$

20

### 2.3 Wärmeaustauscherfläche

25

$$\text{Formel A: } \frac{Q}{k \times \Delta t_m}$$

30

- A = Wärmeaustauscherfläche  
Q = zu übertragender Wärmestrom  
k = Wärmedurchgangskoeffizient  
 $\Delta t_m$  = mittlere Temperaturdifferenz am Wärmetauscher

35

#### 2.3.1. Temperaturen am Wärmetauscher

##### 2.3.1.1. Rohgas-Eintritt

40

entspricht der Temperatur im Nachhärteofen:	140 °C
---	--------

45

##### 2.3.1.2. Reingas-Eintritt

50

55

Um eine möglichst vollständige Verbrennung bei einer Verweilzeit von 1 (ohne Anrechnung der Katalysatorwirkung) zu erreichen, ist es günstig, eine Temperatur zwischen 720 und 800 °C einzustellen.	760 °C
---	--------

**2.3.1.3. Reingas-Austritt**

- 5 Diese Temperatur entspricht der Umlufttemperatur des Vorwärmofens, erhöht um den Betrag, der nötig ist, gerade ausreichend Energie in den Vorwärmofen einzubringen (siehe 2.2.).

10

Temperatur im Vorwärmofen:	130 °C
Differenztemperatur nach 2.2.:	301 K
erforderliche Reingasaustrittstemperatur bei einem Volumenstrom von 220 m <sup>3</sup> /h = 130 °C + 301 K	= 431 °C

15 **2.3.1.4. Rohgas-Austritt**

- Da in diesem Wärmetauscher auf der Roh- und auf der Reingasseite ein und dasselbe Medium - also der gleiche Volumenstrom strömt, kann genügend genau die Temperaturdifferenz auf der Rohgasseite gleich der auf der Reingasseite gesetzt werden.

20

Daraus ergibt sich folgende Rohgasaustrittstemperatur:	469 °C
--	--------

25 **2.3.2. Mittlere Temperaturdifferenz  $\Delta t_m$**

30

35

40

45

50

55

Entsprechend 2.3.1.4. sind die Temperaturdifferenzen auf Roh- und Reingasseite gleich. Daher braucht bei diesem Wärmetauscher keine mittlere logarithmische Temperaturdifferenz zur Auslegung berechnet werden. Die mittlere Temperaturdifferenz entspricht der Temperaturdifferenz auf der Roh- oder Reingasseite:	329 K
---	-------

## 2.3.3. Zu übertragender Wärmestrom Q

- 5 Der Wärmetauscher muß so viel Wärmeenergie übertragen, daß das Rohgas von 140 auf 469 °C aufgeheizt werden kann.

Mittlere spezifische Wärmekapazität

10 Luft:  $0,371 \frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{m}^3 \times \text{K}}$

15 Rohgasvolumenstrom:  $220 \text{ m}^3/\text{h}$

Temperaturdifferenz auf der Rohgasseite:  $329 \text{ K}$

zu übertragender Wärmestrom =

20  $\frac{0,371 \times \text{W} \times \text{h} \times 220 \times \text{m}^3 \times 329 \times \text{K}}{\text{m}^3 \times \text{K} \times \text{h}} \quad 28,85 \text{ kW}$

## 25 2.3.4. Wärmedurchgangskoeffizient

Formel  $k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$

- 35  $\alpha =$  Wärmeübergangszahl (in  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ) für Luft kann angesetzt werden:  $\alpha = 5 + 3,4 \times v$   
 $v =$  Anströmgeschwindigkeit (in  $\text{m}/\text{s}$ )  
 $\alpha_1 =$  Wärmeübergangszahl (in  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ) Rohgas  
 $\alpha_2 =$  Wärmeübergangszahl (in  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ) Reingas  
 $s =$  Schichtdicke der wärmeübertragenden Wand (in  $\text{m}$ )  
 40  $\lambda =$  Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes der Übertragungswand (in  $\text{W}/\text{m K}$ )

2.3.4.1. Wärmeübergangszahl Rohgas  $\alpha_1$ 

- 45 In der Praxis hat es sich als günstig erweisen, am Rohgaseintritt eine Anströmgeschwindigkeit von 4 m/s einzustellen. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt aber im Wärmetauscher mit steigender Temperatur des Gases zu. Die Strömungsgeschwindigkeit ändert sich im Verhältnis der Absoluttemperatur.

50	Rohgaseintrittstemperatur:	140 °C
	Rohgasaustrittstemperatur:	469 °C
	Anströmgeschwindigkeit am Rohgaseintritt:	4 m/s

$$v_1 = 4 \text{ m/s} \times \frac{273 + \frac{140 + 469}{2}}{273 + 140} = 5,59 \text{ m/s}$$

$$\alpha_1 = 5 + 3,4 \times v_1 = 5 + 3,4 \times 5,59 = 24,01 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

#### 2.3.4.2. Wurremeubergangszahl Reingas $\alpha_2$

Reingaseintrittstemperatur:	760 °C
Reingasaustrittstemperatur:	431 °C
Anströmgeschwindigkeit am Rohgaseintritt:	4 m/s

$$v_2 = 4 \text{ m/s} \times \frac{273 + \frac{760 + 431}{2}}{273 + 140} = 8,41 \text{ m/s}$$

$$\alpha_2 = 5 + 3,4 \times v_2 = 5 + 3,4 \times 8,41 = 33,59 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

#### 2.3.4.3. Schichtdicke s

In der Praxis hat es sich als günstig erwiesen, z. B. Platten oder Rohre mit einer Stärke von 0,5 mm zu verwenden.

Schichtdicke = 0,5 mm =	0,0005 m
-------------------------	----------

#### 2.3.4.4. Wurremeleitzaahl $\lambda$

Der in der Praxis häufig verwendete Stahl 1.4541 hat eine Wurremeleitzaahl von zirka:

$$22 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}}$$

#### 2.3.4.5. Wurremedurchgangskoeffizient k

$$k = \frac{1}{\frac{1}{24,01} + \frac{0,0005}{22} + \frac{1}{33,59}} = 14,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}}$$

### 2.3.5. Wärmeaustauscherfläche A

$$A = \frac{Q}{k \times \Delta t_m} = \frac{28,85 \times \text{kW} \times \text{m}^2 \times \text{K}}{14 \times \text{W} \times 329 \times \text{K}} = 6,26 \text{ m}^2$$

## 3. Auslegung der Anlagenkomponenten

Die im Schema beschriebene Anlagenkonfiguration zugrundegelegt und basierend auf der vorstehenden Berechnung sowie den gegebenen Anlagen- und Anwendungsdaten, sind die Anlagenkomponenten wie folgt auszulegen:

### 3.1. Anlagenparameter

siehe Punkt 1.2.

### 3.2. Brennraumvolumen

$$\begin{aligned} \text{Durchsatz} &= \text{styrolbeladene} \\ &\quad \text{Träufelanlagenabluft:} \quad 220 \text{ m}^3/\text{h} \\ \text{Verweilzeit (ausreichend für eine} \\ &\quad \text{vollständige Verbrennung bei } 720 \text{ }^\circ\text{C} \\ &\quad \text{ohne Katalysator):} \quad 1 \text{ s} \\ \text{Brennraumvolumen} &= 220 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ s} = 0,062 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### 3.3 Leistungsgewinn aus Styrolverbrennung

$$\begin{aligned} \text{Styrolemission} & \quad 1,4 \text{ kg/h} \\ \text{Heizwert Styrol:} & \quad 11,7 \frac{\text{W} \times \text{h}}{\text{g}} \\ \text{Leistungsgewinn} &= \frac{11,7 \times \text{W} \times \text{h} \times 1,4 \times \text{kg}}{\text{g} \times \text{h}} = 16,38 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 3.4. Elektrische Zusatzheizung

## 3.4.1. Anschlußwert

50 kW

## 5 3.4.2. Dauerleistung

10

Diese ergibt sich aus dem Leistungsbedarf des Vorwärmofens (siehe 2.1.5.) abzüglich des Leistungsgewinns aus der Styrolverbrennung (siehe 3.3.):  $24,58 \text{ kW} - 16,38 \text{ kW} =$

8,20 kW

## 3.5. TNV-Zuluftventilator 11

15

20

Radialventilator mit Direktantrieb Volumenstrom:	100 - 1.000 Nm <sup>3</sup> /h
maximale Temperatur:	150 °C
Gesamtpressung:	2,9 kPa
Motorleistung:	1,5 kW

## 3.6. TNV-Abluftventilator 30

25

30

Radialventilator mit Direktantrieb Volumenstrom:	100 - 1.000 Nm <sup>3</sup> /h
maximale Temperatur:	150 °C
Gesamtpressung:	2,0 kPa
Motorleistung:	1,5 kW

## 3.7. Katalysator 14

35

Ganzmetall - Edelmetall - Katalysator

2 Stück

Anmessungen: jeweils 610 x 457 x 67 mm

## 3.8. Leistungsvergleich

40

## 3.8.1. Leistungsbedarf für Vorwärmzone ohne Nutzung einer erfindungsgemäßen TNV

45

siehe 2.1.5. =	24,58 kW
----------------	----------

## 3.8.2. Leistungsbedarf für Vorwärmzone mit Nutzung einer erfindungsgemäßen TNV

50

Dieser ergibt sich aus dem Leistungsbedarf für die Vorwärmzone (siehe 2.1.5.) zuzüglich einem Leistungsbedarf für den Betrieb der Gebläse 11 und 30 (Erfahrungswert: je Gebläse unter 0,5 kW Dauerleistung) und abzüglich des Leistungsgewinns aus der Styrolverbrennung (siehe 3.3.):

55

$24,58 \text{ kW} + (2 \times 0,5) \text{ kW} - 16,38 \text{ kW} =$	9,20 kW
---	---------

Patentansprüche



1. Verfahren zum Tränken und/oder Beschichten von Gegenständen in einer Träufel- und/oder Tauchroll-  
anlage unter Hindurchführen der Gegenstände durch eine Vorwärmzone, wenigstens eine Träufel-,  
Tauchroll- und/oder Beschichtungszone, eine Nachhärtungszone und gegebenenfalls wenigstens eine  
5 Zwischenhärtungszone, **dadurch gekennzeichnet**, daß man die Abluft der Träufel-, Tauchroll-,  
Beschichtungs-, Zwischenhärtungs- und/oder Nachhärtungszone als Rohgas in eine Nachverbrennungs-  
anlage überführt, wobei das Rohgas durch indirekten Wärmeaustausch mit dem Reingas der Nachver-  
brennung erhitzt wird, daß man das Reingas der Nachverbrennung wenigstens teilweise zu der  
Vorwärmzone zurückführt und daß man den Energieinhalt des zur Vorwärmzone zurückgeführten  
10 Reingases so einstellt, daß der Energiebedarf der Vorwärmzone im wesentlichen gerade gedeckt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß man den Energieinhalt des Reingases  
durch Festlegung der Wärmeaustauschkapazität des Wärmetauschers für den indirekten Wärmeaus-  
tausch mit dem Rohgas einstellt.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß man den Energieinhalt des  
Reingases durch die Grundeinstellung der Rohgaszufuhrmenge zu der Nachverbrennung und/oder der  
Reingaszufuhrmenge zu dem indirekten Wärmeaustausch einstellt.
- 20 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß man den Energieinhalt  
des Reingases durch Regelung der Rohgaszufuhrmenge zur Nachverbrennung, der Reingaszufuhrmen-  
ge zum indirekten Wärmeaustausch, einer Zusatzheizung vor oder während der Nachverbrennung,  
vorzugsweise jeweils in Abhängigkeit von der Temperatur während der Nachverbrennung, und/oder  
durch Regelung der Reingastrückführmenge zu der Vorwärmzone, vorzugsweise in Abhängigkeit von  
25 der Temperatur in der Vorwärmzone, einstellt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß man das Rohgas  
während der Nachverbrennung durch einen Verbrennungskatalysator führt.
- 30 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß man in der Nachver-  
brennungsanlage die Temperatur auf 300 bis 900 °C und die Verweilzeit auf 1/10 bis 5 s einstellt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß man in der Nachver-  
brennungsanlage einen Unterdruck erzeugt, der in der Zwischen und/oder Nachhärtungszone einen  
35 Unterdruck gegenüber dem umgebenden Arbeitsraum hervorruft.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß man in der Zwischen- und/oder Nachhär-  
tungszone einen Unterdruck erzeugt, der in der Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone einen  
Unterdruck gegenüber dem umgebenden Arbeitsraum und/oder der Vorwärmzone hervorruft.
- 40 9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 mit einer Vorwärmzo-  
ne, wenigstens einer Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone, einer Nachhärtungszone und  
gegebenenfalls einer Zwischenhärtungszone sowie einer Transporteinrichtung zum Transportieren von  
Gegenständen durch diese Zonen, **gekennzeichnet durch** eine über eine Rohrleitung (4) mit der  
45 Träufel-, Tauchroll-, Beschichtungs- (2), Zwischenhärtungs- und/oder Nachhärtungszone (3) verbunde-  
ne Nachverbrennungsanlage (5), eine Heizeinrichtung (13) und einen Wärmetauscher (12) für indirekten  
Wärmeaustausch des Reingases mit dem Rohgas, jeweils vor oder in der Nachverbrennungsanlage (5),  
eine Reingasleitung (23) von der Nachverbrennungsanlage (5) zu der Vorwärmzone (1) sowie Einrich-  
tungen zur Einstellung des Energieinhaltes des in die Vorwärmzone eintretenden Reingases.
- 50 10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur Einstellung des  
Energieinhaltes des Reingases in der Auslegung der Wärmeaustauschkapazität des Wärmetauschers  
(12) bestehen.
- 55 11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur Einstel-  
lung des Energieinhaltes des Reingases aus der Grundeinstellung eines Gebläses (11) in der Rohrlei-  
tung (4) zur Nachverbrennungsanlage (5) und/oder der Grundeinstellung einer den Wärmetauscher  
(12) umgehenden Bypassleitung (17) bestehen.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur Einstellung des Energieinhaltes des Reingases aus einer Steuereinrichtung für den Durchsatz eines Gebläses (11) in der Rohrleitung (4) zu der Nachverbrennungsanlage (5), vorzugsweise in Abhängigkeit von einer Temperaturmessung in der Nachverbrennungsanlage (bei 18), bestehen.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur Einstellung des Energieinhaltes des Reingases aus einer Vorrichtung (20) zur Steuerung des Reingasdurchsatzes durch den Wärmetauscher (18) in der Nachverbrennungsanlage (5) bestehen.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur Einstellung des Energieinhaltes des Reingases aus einer regelbaren Heizeinrichtung (13) in der Nachverbrennungsanlage (5), bestehen, wobei die Heizeinrichtung vorzugsweise in Abhängigkeit von der Temperatur (bei 19) in der Nachverbrennungsanlage (5) regelbar ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einrichtungen zur Einstellung des Energieinhaltes des Reingases aus einem steuerbaren Drosselventil (24) in der Reingasleitung (23) zur Vorwärmzone (1) bestehen, wobei das Drosselventil (24) vorzugsweise in Abhängigkeit von der Temperatur (bei 26) in der Vorwärmzone (1) steuerbar ist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Nachverbrennungsanlage (5) ein Verbrennungskatalysator (14) angeordnet ist.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß mit der Reingasleitung (23) zur Vorwärmzone (1) eine direkt mit dem Kamin (31) verbundene Zweigleitung (28) verbunden ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein in der Zwischen- und/oder Nachhärtungszone (3) und in der Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone (2) einen Unterdruck gegenüber dem umgebenden Arbeitsraum erzeugendes Gebläse (11) vorgesehen ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Übergangsöffnung (32) zwischen der Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone (2) und der Nachhärtungszone (3) vorgesehen ist, deren Querschnitt größer als die Summe der freien Querschnitte der Öffnung (8) für den Eintritt der Transporteinrichtung (6) in die Träufel-, Tauchroll- und/oder Beschichtungszone (2) und eines Frischluftausgangsstutzens (9) dieser Zone ist.

